

О. О. Пасічний, канд. техн. наук, Київ, Україна

ОБРОБКА ШЛІФУВАЛЬНИМ ІНСТРУМЕНТОМ З УПОРЯДКОВАНИМ АБРАЗИВНИМ ШАРОМ

У статті розглянуто питання шліфування інструментом з впорядкованим розміщенням алмазних зерен. Розглянуто еволюцію мікропрофілю обробленої поверхні у разі використання впорядкованих композитів без перекриття і з перекриттям алмазовмісних шарів. Показано, що найбільш характерним показником обробки впорядкованими алмазами є розподіл матеріалу у шорсткому шарі (опорна крива), що саме і характеризує стан ріжучої поверхні композиту.

В статье рассмотрен вопрос шлифования инструментом с упорядоченным размещением алмазных зерен. Рассмотрена эволюция микропрофиля обработанной поверхности в случае использования упорядоченных композитов без перекрытия и с перекрытием алмазосодержащих слоев. Показано, что наиболее характерным показателем обработки упорядоченными алмазами является распределение материала в шероховатом слое (опорная кривая), что именно и характеризует состояние режущей поверхности композита.

In article the question of formation of a microprofile on the processed surface is considered at grinding by the tool with the ordered placing of diamond grains. Evolution of a microprofile of the processed surface in case of use of the ordered composites without overlapping and with overlapping of layers is considered. It is shown that the most typical indicator of processing by the ordered diamonds is material distribution in a rough layer (a basic curve) what exactly characterizes a condition of a cutting surface of a composite.

Як відомо, одним з найбільш важливих експлуатаційних показників шліфувального інструмента є його зносостійкість та максимальна, при заданій якості обробки, її продуктивність. Ці показники, переважно, визначаються характеристиками абразивного матеріалу. Причому, вимоги до нього пред'являються суперечливі. З одного боку, для досягнення високої зносостійкості, абразивні зерна повинні бути достатньо міцними, а з другого, для забезпечення високої продуктивності обробки, затупленні ріжучі зерна повинні руйнуватися і сколюватися, для утворення нових гострих ріжучих кромки. Тому абразивного наповнювача шліфувального інструменту потребує відповідних компромісів. Однак навіть найбільш оптимальний вибір абразивного матеріалу забезпечує ефективність використання шліфувального інструменту значно нижчу, ніж теоретично можливо. Так по оцінкам авторитетних дослідників, коефіцієнт використання абразивних зерен, в сучасних процесах шліфування, не перевищує 10–25%. Тому задача підвищення ефективності використання шліфувального інструменту, насамперед алмазного, є вкрай важливою.

Одним з напрямків кардинального підвищення ефективності обробки шліфувального інструменту є структурування робочого шару інструменту. Серед сучасних розробок у цьому напрямку найбільш відома технологія впорядкованого розміщення алмазів ARIX (Рисунок 1) [1]. Аналіз літератури,

даних інтернету та асортименту на виставках-конференціях виробників свідчить, що на ринку алмазного інструменту вже почали з'являтися алмазні круги, які виготовленні за цією технологією.

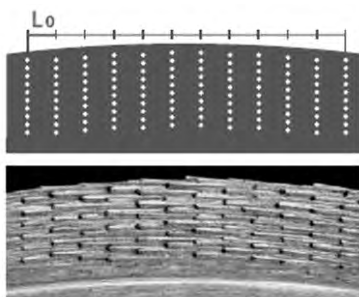


Рисунок 1 – Схема розміщення алмазів та зовнішній вигляд робочої поверхні шліфувального круга, виготовленого за технологією ARIX.

За оцінками виробників, доля нового інструменту вже в найближче майбутнє буде складати більше 10% [1, 2]. Враховуючи, що такий інструмент, за рахунок кардинальної зміни процесу різання, дозволяє значно покращити показники обробки [2], роботи спрямовані на вивчення і організацію виробництва шліфувального інструменту з впорядкованою структурою є важливими і актуальними.

Для дослідження обробки алмазними композитами з впорядкованими алмазами було виготовлено зразки абразивних композитів AC200 500/400–M2-01 із впорядкованим пошаровим розташуванням алмазів та із розташуванням вільною засипкою тієї ж кількості алмазів, у вигляді таблеток діаметром 35,6 мм та товщиною 4 мм. Таблетки закріплювалися на спеціальному корпусі круга 12A2-45 [3].

Під час обробки таким інструментом твердого сплаву BK8 та інструментальної сталі Т5К6 на традиційних режимах обробки, як брикетами з впорядкованими так і хаотично розташованими алмазами, на оброблюємі поверхні утворювались сколи та прижоги. Вочевидь причиною цього є надто низька відносна концентрація алмазів у брикетах (4-5%) і, як наслідок цього, інтенсивний контакт оброблюемого матеріалу із зв'язкою інструменту. Обробка з охолодженням суттєво ситуацію не поліпшила. Тому було прийняте рішення вести обробку із введенням в зону обробки додаткової енергії — імпульсів електричного струму (позитивний потенціал подавався на інструмент). При такій електроімпульсній обробці матеріал зв'язки більш інтенсивно зношується і, таким чином, поліпшуються умови різання у зоні обробки, а також більш інтенсивно змінюються шари абразивних брикетів. Збільшення відносних витрат алмазів у даному випадку не є недоліком, оскільки проводилось порівняння показників обробки впорядкованими і традиційними абразивами

при однакових умовах обробки, а основна задача дослідів полягала встановити особливості обробки впорядкованими композитами, у тому числі при зміні шарів композиту внаслідок їх зношування.

Аналіз обробки показав, що інструмент з хаотичними алмазами, вже при продуктивності обробки $100 \text{ мм}^3/\text{хв.}$, призводить до появи дефектів на поверхні обробляємих. Ефективна потужність шліфування складала $N_{\text{эф.}}=0,15 \text{ кВт.}$ При цьому обробка інструментом з впорядкованими алмазами дозволяє підняти продуктивність до $300 \text{ мм}^3/\text{хв.}$ без появи дефектів на оброблюємії поверхні.

Поверхня композиту з хаотично розташованими зернами алмазу вкрита слідами контакту між оброблюємою поверхнею і зв'язкою інструменту, що й обумовлює появу дефектів обробки. Натомість поверхня композиту з впорядкованими зернами таких слідів не має, на поверхні композиту дуже добро видно сліди електро-іскрового впливу. Така картина пояснюється тим, що в інструменті з впорядкованими зернами усі зерна поверхневого шару виступають на однакову величину і всі вони приймають участь в механізмі знімання припуску, а це створює умови для утворення зазору між поверхнями інструменту і поверхнею, що обробляють. На Рисунку 2 показано поверхні композитів після обробки з продуктивністю $100 \text{ мм}^3/\text{хв.}$

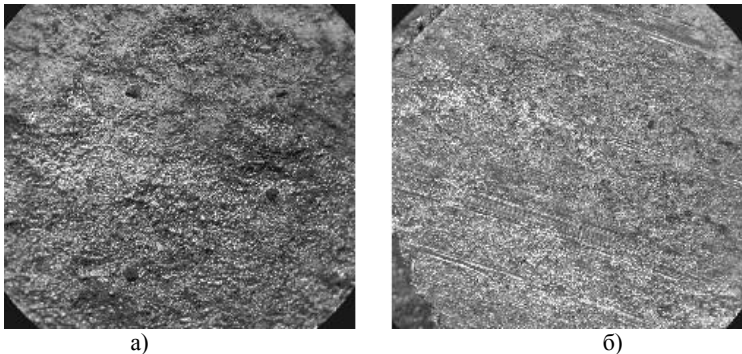


Рисунок 2 – Поверхня композитів після обробки:

а) з впорядкованими алмазами; б) – з хаотично розташованими алмазами.

Обробка з охолодженням дозволила підняти продуктивність композиту з хаотичним розташуванням зерен до $200 \text{ мм}^3/\text{хв.}$ ($S_{\text{пр}} = 0,56 \text{ м/хв.}$) при $N_{\text{эф.}}=0,2 \text{ кВт.}$ При цьому обробка з охолодженням інструментом з впорядкованими алмазами при продуктивності $400 \text{ мм}^3/\text{хв.}$ ($S_{\text{пр}} = 1,2 \text{ м/хв.}$) при $N_{\text{эф.}}=0,4 \text{ кВт}$ не викликала появи дефектів на оброблюємих зразках також.

Аналогічну продуктивність обробки було досягнуто і використанням композиту з хаотично розташованими зернами у випадку, коли відносну концентрацію вмісту алмазів підняли до 16% (приблизно у чотири рази). Інстру-

ментом з такою концентрацією обробку можна вести до досягнення продуктивності до $300 \text{ мм}^3/\text{хв.}$ без появи дефектів обробки.

Однак найбільш характерні закономірності, у випадку інструменту з впорядкованими алмазами, було виявлено при подальшій обробці, під час зміни, шарів інструменту. В результаті проведених досліджень було встановлено яскраво виражену залежність формованого на поверхні зразка мікропрофілю поверхні від величини зношування композита з упорядкованим розміщенням алмазних зерен (Рисунок 3).

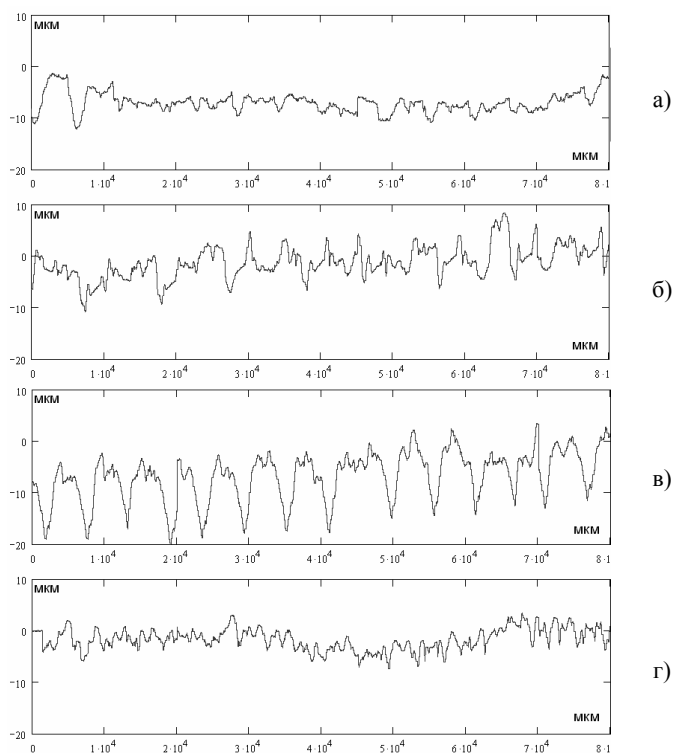


Рисунок 3 – Профілограми обробленої поверхні: а) перший етап – вскриття алмазів; б) обробка вскритими зернами; в) обробка високо виступаючими зернами алмазів; г) обробка при випаданні занадто виступаючих зерен.

При малому виступанні зерен алмазів формується нестабільний профіль характерний, зокрема, для шліфування засаленим абразивним інструментом (див. Рисунок 3 а). По мірі зношування зв'язування й збільшенні виступання профіль стає стабільним, характерним для шліфування (див. Рисунок 3 б), на поверхні зразка формується типова для шліфування сітка слідів обробки. По-

дальше оголення алмазних зерен призводить до формування регулярного стабільного мікропрофілю (див. Рисунок 3 в), характерного для обробки різанням. На даному етапі обробки дещо знижується ефективна потужність обробки і збільшується шорсткість обробки, поверхня обробляемого зразка має регулярний профіль без дефектів.

Далі висота виступання зерен досягає критичного значення ($\frac{3}{4}$ від висоти зерна) і алмазні зерна починають інтенсивно випадати із зв'язки (див. Рисунок 3 г). У цей момент, внаслідок збільшення контакту між поверхнями зв'язки і обробляемого зразку, збільшується ефективна потужність обробки і тепловиділення в зоні обробки. На поверхні обробляемого зразку з'являються дефекти — прижоги, сколи, налипання зв'язки. Цей процес протікає дуже швидко, після чого процес обробки фактично припиняється, оскільки у приповерхневому шарі не залишається алмазів. Фактично в цей період лише поступово, завдяки електроімпульсній обробці, руйнується зв'язка. З появою на поверхні композиту зерен алмазів із наступного шару увесь вище описаний процес повторюється. Саме присутність у цьому процесі останнього етапу обумовлює високе значення відносної витрати алмазів (45,2 мг/г). Якщо розрахувати значення відносної витрати алмазів за перші три етапи зношування одного шару розташування алмазів, то вона буде становити 17,72 мг/г, що нижче ніж відносної витрати алмазів в аналогічних умовах у разі використання інструменту на основі композиту із хаотично розміщеними зернами (28,95 мг/г).

Таким чином, було експериментально встановлено істотну зміну формованого на деталі профілю обробленої поверхні, а значить й умов шліфування при використанні багатошарового спеченого композита з упорядкованим розташуванням алмазних зерен, синхронно із зношуванням шарів розміщення алмазів.

Виявлена закономірність істотно ускладнює можливість виготовлення ефективного інструменту із багатошаровим впорядкованим розташуванням алмазних зерен тому, що такий інструмент потребує періодичної правки після третього етапу зношування кожного шару зерен алмазів, а обробка пов'язана з циклічною зміною основних показників процесу, зокрема продуктивності і ефективної потужності шліфування. Також циклічно змінюватись буде і мікропрофіль, який формується на поверхні деталі під час обробки.

Для уникнення таких вад інструменту с багатошаровим впорядкованим розміщенням алмазів було проведено ряд досліджень, результати якого дозволили отримати рішення запобігання небажаних явищ під час обробки таким інструментом.

Для цього було запропоновано шари алмазів розміщувати з перекриттям сусідніх шарів. Було розроблено технологію виготовлення такого абразивного композиту. На Рисунку 4 показані схеми розміщення шарів алмазів з перекриттям. Для виготовлення композитів способом пошарової укладки зерен

алмазів у холодно брикетовані таблетку застосовувалась схема на Рисунку 3а, при якій шари перекриваються на величину h висоти алмазних зерен. Для монолітного виготовлення абразивного композиту з пошаровим розміщенням зерен алмазів через сепаратор у процесі заповнення прес-форми шихтою застосовували схему на Рисунку 4б, при якій шари розміщення алмазів перекриваються на половину висоти алмазних зерен.

Тобто максимальна продуктивність, без появи дефектів на оброблюємій поверхні, складала до $300 \text{ мм}^3/\text{хв.}$ при $N_{\text{еф.}}=0,3\text{кВт}$, для обробки без охолодження, а з охолодження — $400 \text{ мм}^3/\text{хв.}$ при $N_{\text{еф.}}=0,4\text{кВт}$.

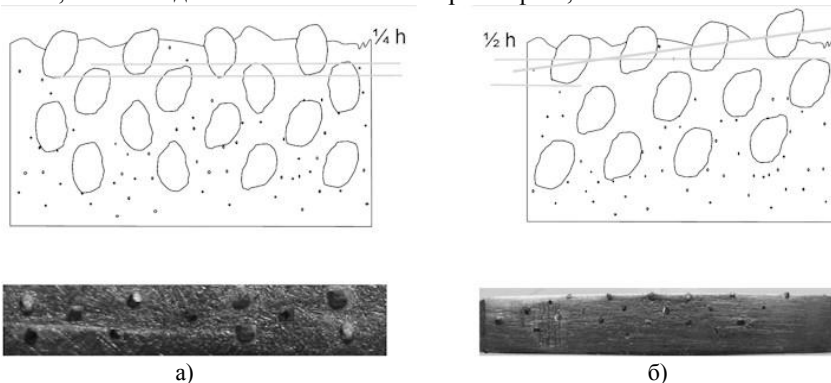


Рисунок 4 – Схеми розміщення алмазноносних шарів з перекриттям і переріз таких композитів: а) для пошарового брикетування; б) для монолітно виготовлених брикетів.

Основна відмінність роботи інструментом на основі впорядкованого шаруватого композиту полягає в іншій закономірності формування мікропрофілю обробки під час зношування шарів розташування алмазних зерен – мікропрофіль оброблюваної поверхні, за умов обробки таким композитом, циклічно змінюється більш плавно, аніж у випадку з композитом із неперекриваючимися шарами, і, при цьому, характер такого профілю формується проміжним – регулярно-стохастичним. На Рисунку 5 представлено профілограми поверхні обробленої шаруватим композитом із перекриттям шарів розташування алмазних зерен, опорні криві профілю та вигляд обробленої поверхні для відповідних етапів зношування одного шару композиту. Як видно з цього рисунку в основному зміна мікропрофілю синхронно із етапами зношування шарів композиту пов'язана не зі зміною висоти мікропрофілю (як це є у разі використання композиту із неперекриваючимися шарами), а зі зміною характеру опорної кривої мікропрофілю.

Аналізуючи отримані показники можна відмітити, що за висотними та кроковими показниками після обробки суттєвої різниці між абразивними композитами різної впорядкованості не виявлено, а ось розподіл матеріалу у шорсткому шарі (опорна крива), що саме і характеризує стан ріжучої поверх-

ні композитів відрізняється суттєво. У випадку впорядкованого розташування алмазів спостерігається рівномірний мікрорельєф із показниками опорної кривої $t_{20}=3,86\%$ та $t_{50}=71,73\%$. У випадку випадкового розташування алмазів мікрорельєф є нерівномірним із наявністю підвищених висотних випадів матеріалу. Як наслідок, опорна крива формується загостреною і, хоча показник t_{20} дещо підвищується до $5,34\%$, але показник t_{50} досягає лише $26,62\%$. Наявність електроерозійного впливу сприяє в цілому покращенню рівномірності мікрорельєфу в обох випадках. Показники t_{20} та t_{50} майже співпадають – $10,42\%$ і $59,42\%$ для впорядкованих алмазів та $12,08\%$ і $57,94\%$ для хаотично розташованих. А ось висотні показники відрізняються більш як в 2 рази ($R_{max}=4,91$ мкм для хаотично розташованих і $R_{max}=12,73$ мкм для впорядкованих алмазів у робочому шарі), що свідчить про кращу (більш як в 2 рази) абразивну здатність впорядкованих абразивних композитів.

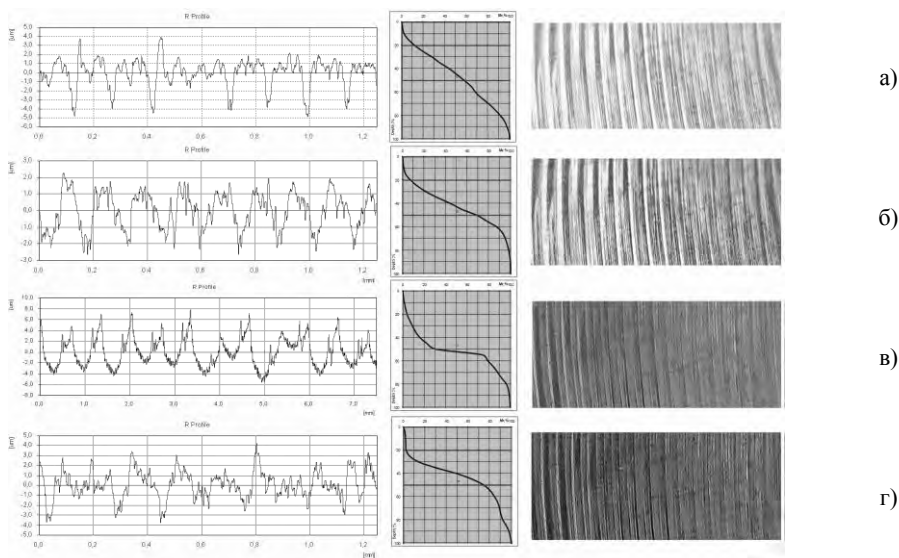


Рисунок 5 – Профілограми поверхні обробленої шаруватим композитом із перекриттям шарів розташування алмазних зерен, опорні криві профілю та оброблена поверхня: а) перший етап вскриття алмазів; б) обробка вскритими зернами; в) обробка високо виступаючими зернами алмазів; г) обробка при випаданні занадто виступаючих зерен.

Висновки.

1. Встановлено, що найбільш характерним показником обробки впорядкованими алмазами є розподіл матеріалу у шорсткому шарі. У випадку впорядкованого розташування алмазів спостерігається рівномірний мікрорельєф

із показниками опорної кривої $t_{20}=3,86\%$ та $t_{50}=71,73\%$. У випадку випадкового розташування алмазів мікрорельєф є нерівномірним із наявністю підвищених висотних випадів матеріалу. Наявність електроерозійного впливу сприяє в цілому покращенню рівномірності мікрорельєфу в обох випадках.

2. Вперше досліджено абразивну здатність спеченого композиту в інструменті з пошарово-впорядкованим розміщенням алмазних зерен та встановлені закономірності зміни показників обробки, зокрема шорсткості оброблюваної поверхні, в процесі зношування такого інструменту, коли у відповідності із поступовою зміною шарів алмазів відбувається циклічна зміна висотних параметрів шорсткості. Характер мікропрофілю при цьому також циклічно змінюється від стохастичного (характерного для різання великою кількістю зерен) до регулярного (характерного для різання одиничним зерном) і навпаки.

3. Встановлені умови впорядкованості робочого шару композиту, для яких діапазон зміни висотних показників шорсткості при обробці пошарово-впорядкованим інструментом є мінімальним. Для цього, у шаруватому абразивному композиті шари розташування алмазних зерен повинні бути зміщені між собою не тільки у горизонтальному напрямку, але і вертикальному, причому в останньому таким чином, щоби шари перекривалися на четверть величини зернистості алмазів. Мікропрофіль оброблюваної поверхні, за умов обробки таким композитом циклічно змінюється більш плавно, ніж у випадку з композитом із неперекриваючимися шарами, і, при цьому, характер такого профілю формується проміжним – регулярно-стохастичним.

Перелік використаних джерел: 1. Study for cutting performance in arrayed diamond saw blade / *S.P.Pyun, H.W.Lee Lee, J.H.Park* // 1st International Industrial Diamond Conference 20-21 October 2005 Barcelona Spain. 2. *G. Weber and C. Weiss*. DIAMIX – A family of bonds based on DIABASE-V21// Industrial diamond review. –2005, № 6. – Р. 27-28. 3. *Лавриненко В. И., Пасичный О. О., Сытник Б.В., Девицкий А.А.* Исследование особенностей спеченного композита с упорядоченной структурой // Процеси механічної обробки в машинобудуванні / Зб. наук. праць ЖДТУ. – Житомир: ЖДТУ, 2009. – Вип. 7. – С. 105 – 113.

Поступила в редколлегию 20.05.2012